

**И.Н. ПЫЖОВ**, д-р техн. наук, **В.А. ФАДЕЕВ**, д-р техн. наук,  
**В.А. ФЕДОРОВИЧ**, д-р техн. наук, Харьков, Украина

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ЛЕЗВИЙНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ ИЗ ПСТМ АЛМАЗНЫМ ШЛИФОВАНИЕМ**

Розглянуті деякі питання, пов'язані з можливістю підвищення ефективності процесу формоутворення лезових інструментів з полікристалічних надтвердих матеріалів алмазним шліфуванням.

Рассмотрены некоторые вопросы, связанные с возможностью повышения эффективности процесса формообразования лезвийных инструментов из поликристаллических сверхтвердых материалов алмазным шлифованием.

Some questions related to possibility of increase the efficiency of the formation process of lathe instruments made of polycrystalline superhard materials by means of diamond grinding are considered.

*1. Постановка проблемы.* По данным многих исследователей ([3, 7, 17] и др.) одним из наиболее перспективных методов формообразования лезвийных инструментов и др. изделий из поликристаллических сверхтвердых материалов (ПСТМ) в настоящее время остается шлифование кругами на основе шлифпорошков алмаза. Его эффективность остается существенной даже применительно к черновым стадиям обработки т.к. значения производительности процесса и расхода кругов имеют приемлемые значения. Однако с позиции экономии самих ПСТМ этот метод, конечно же, не совершенен.

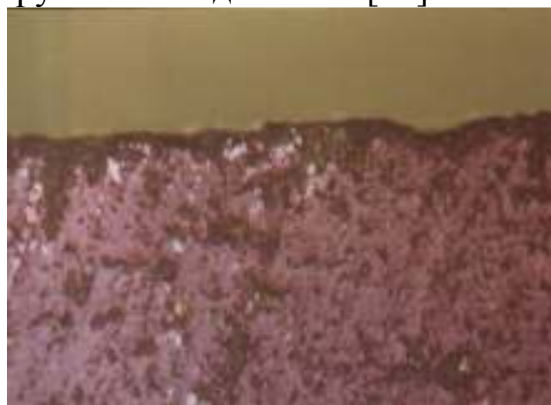
*2. Анализ последних исследований и публикаций.* До настоящего времени проблема повышения эффективности процесса алмазного шлифования ПСТМ является открытой по причине недостаточной изученности некоторых его особенностей [4, 14, 17]. Анализ литературных источников показал, что качество заточки лезвийных инструментов из поликристаллических сверхтвердых материалов оценивалось в основном только шероховатостью их рабочих поверхностей и кромок, а также радиусом округления последних [3, 4, 8, 12, 13, 14, 17]. Системные же исследования по образованию сколов на режущих кромках при этом практически отсутствуют, несмотря на то, что в нормативно-технической документации они регламентируются [2, 6, 1].

*3. Цель исследования.* Целью настоящей работы является установление некоторых особенностей, процесса алмазного шлифования

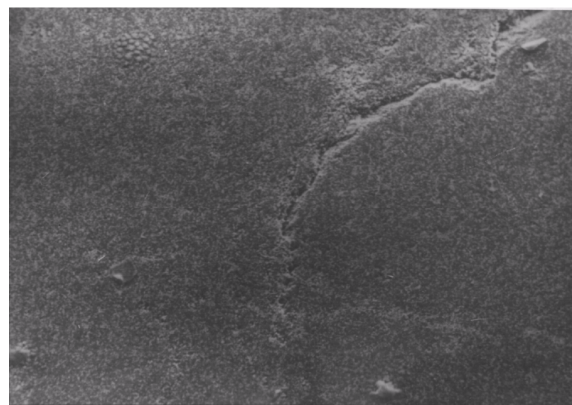
ПСТМ, связанных с необходимостью повышения его эффективности в условиях получения высокого качества обработки.

#### *4. Основные материалы исследования.*

По данным работы [16] даже в случае обработки природного алмаза свободным абразивом на чугунных дисках при условии преобладания механического воздействия трудно получить хорошее качество обработанной поверхности и острое лезвие по причине образования больших сколов, форма которых зависит от направления обработки. Эта проблема актуальна и для инструментов из синтетического алмаза. Характерное состояние режущих кромок лезвийных инструментов из синтетического алмаза после чернового шлифования представлено на рис. 1 а. Еще одной существенной проблемой является образование трещин на их рабочих поверхностях (рис. 1 б). Ее наличие подтверждается и зарубежными данными [19].



а)



б)

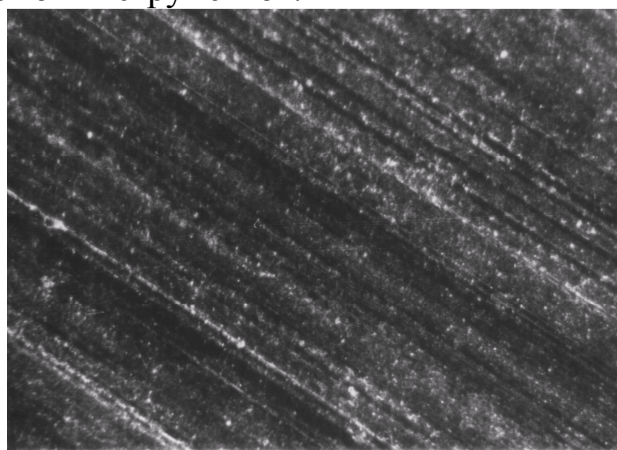
Рисунок 1 – Состояние режущей кромки (а) лезвийного инструмента из алмаза и его рабочей поверхности (б) после чернового шлифования ( $50^x$ )

Имеется определенная взаимосвязь между трещинами на рабочих поверхностях лезвийных инструментов из ПСТМ и сколами на их режущих кромках. Она заключается в том, что в местах выхода трещины на кромку, как правило, образуется скол. Причем это событие может наступать даже при достаточно щадящих режимах обработки.

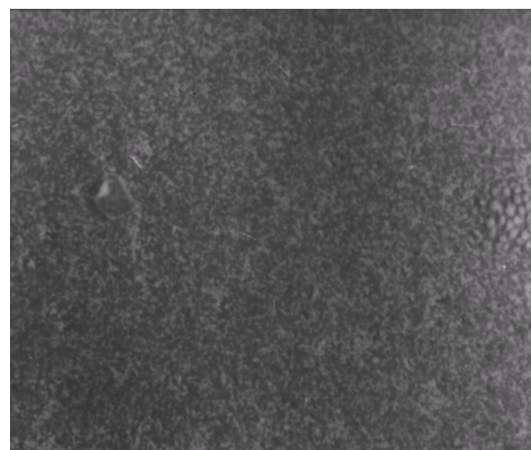
Интенсивность трещинообразования зависит от способа и условий шлифования. Это факт может быть объяснен наличием в составе поликристалла фаз, обладающих резко различными физикомеханическими свойствами и в первую очередь коэффициентом линейного расширения, действие которого не может не проявиться в условиях высокой силовой и тепловой напряженности традиционных процессов шлифования. В тоже время процесс сколообразования на режущих кромках существенно зависит от хрупкости обрабатываемого материала.

В этом случае наиболее уязвимыми будут ПСТМ на основе алмаза, которые с одной стороны обладают максимальной хрупкостью, а с другой

стороны по причине их чрезвычайно высокой микротвердости при их обработке возникают наибольшие усилия резания и температуры в зоне шлифования. Поэтому можно считать, что решение задачи устранения сколообразования кромки при обработке ПСТМ на основе алмаза автоматически влечет за собой решение ее применительно к обработке ПСТМ на основе нитрида бора. Однако это не относится к шероховатости рабочих поверхностей. У ПСТМ на основе алмаза она значительно меньше (при одинаковых условиях обработки) нежели у поликристаллов на основе нитрида бора. Одним из объяснений этого факта можно считать то, что ПСТМ на основе КНБ имеют по сравнению с алмазом меньшие значения микротвердости (до двух раз) и абразивной способности (до четырех раз [15]), а, следовательно, механизм съема припуска с этих материалов несколько иной по сравнению с обработкой алмаза. В первую очередь это проявляется в наличии некоторого внедрения алмазных зерен в КНБ, о чем свидетельствуют риски от следов зерен на обработанной поверхности (см. рис 2 а). Поэтому вопрос выбора характеристики круга для этих материалов так остро не стоит и для их черновой обработки можно рекомендовать стандартные круги на основе шлифпорошков алмаза пониженной зернистости ( $Z = 50/40 - 80/63$ ), что позволяет обеспечивать приемлемое сочетание значений таких выходных показателей, как производительность обработки и удельный расход алмазов при одновременном достижении хорошего состояния режущих кромок инструментов.



а) – Гексанит-Р



б) – СКМ-Р

Рисунок 2 – Обработанная поверхность ПСТМ ( $50^X$ )

Величина сколов на режущих кромках существенно зависит от марки самого обрабатываемого синтетического алмаза. Здесь сказывается влияние структуры ПСТМ. Так, например, поликристаллы АСБ, имеющие более крупнокристаллическую структуру, сильнее подвержены сколообразованию нежели АСПК. С учетом повышенной хрупкости

ПСТМ (и в особенности на основе алмаза) очень важна роль угла заострения режущего клина  $\beta$  в вопросе сколообразования кромок. Чем больше угол заострения  $\beta$ , тем меньше должна быть величина  $\nu$ . Этот факт нашел свое экспериментальное подтверждение и согласуется с данными, полученными в работе [17] применительно к доводке алмазов на чугунных дисках, шаржированных алмазным микропорошком. В ней в частности отмечается, что для уменьшения вероятности образования сколов особое внимание следует обращать на выбор марки материала чугунного диска, зернистость микропорошка и угол заострения лезвия, величина которого должна находиться в пределах  $\beta \approx 80^\circ - 105^\circ$ .

Одна из особенностей процесса формообразования лезвийных инструментов из ПСТМ состоит в том, что улучшение состояния их режущих кромок не может быть достигнуто только лишь за счет уменьшения шероховатости передней и задней поверхностей с учетом хрупкого характера разрушения этих материалов [7]. Так, например, у инструментов из таких менее хрупких ПСТМ как КНБ качество режущих кромок лезвийных инструментов существенно лучше (при сопоставимых условиях обработки) нежели у алмазных инструментов. Это в первую очередь проявляется в меньших размерах сколов на режущих кромках.

Известно, что наряду со сколами на режущих кромках определенные требования к лезвийным инструментам из ПСТМ предъявляются и по точности выполнения геометрии их рабочей части. В этой связи еще одним существенным недостатком высокосилового процесса шлифования ПСТМ следует считать возможность образования, так называемых «завалов» режущих кромок, которые можно классифицировать как отклонение формы (отклонение от прямолинейности  $\Delta$  см. рис. 3 а).

Это явление характерно, как правило, для случаев недостаточной жесткости системы СПИЗ, одним из слабых элементов которой может являться алмазный круг. По данным работы [10] стандартные алмазные круги применительно к обработке обычных инструментальных материалов, как правило, имеют достаточную жесткость. Однако это не всегда справедливо для случая шлифования ПСТМ, когда давление в контакте (при работе по жесткой схеме [5]) как минимум на порядок выше, чем при шлифовании, например, твердого сплава [9]. Поэтому при изменении площади контакта ПСТМ с рабочей поверхностью круга (РПК) на входе и выходе возникает неравномерность контактного давления по ширине РПК (даже при работе без полного выхода ПСТМ за пределы РПК), а это приводит к изменению интенсивности линейного съема материала ПСТМ (рис. 3 б). Ширина участка РПК  $B_{\text{л}}$ , в пределах которой давление  $P = \text{const}$  зависит от общей ширины РПК и размера ПСТМ. Устранение указанного выше отклонения формы может быть

осуществлено, например, путем выхаживания. Однако это требует существенных затрат времени, поскольку в данном случае в особой мере проявляется эффект технологической наследственности [11] (по причине высокой силовой нагруженности в зоне обработки и недостаточной жесткости системы СПИЗ).

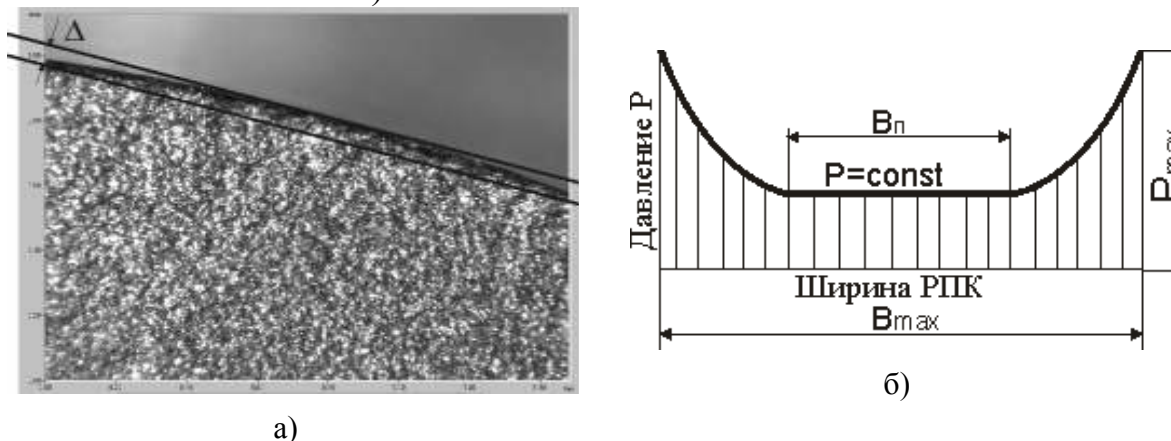


Рисунок 3 – Отклонение режущей кромки от прямолинейности (а) и схема изменения давления в контакте по ширине РПК (б)

Для ответа на вопрос о том, каким образом целесообразно выводить сколы – по передней или задним поверхностям с точки зрения минимизации съема ПСТМ, необходимо в первую очередь учитывать размеры рабочих поверхностей инструментов. Сказанное можно проиллюстрировать примером, представленным на рисунке 4 (здесь а) -  $h = 0.75 \text{ мм}$ ; б) -  $h = 1.125 \text{ мм}$ ; в) -  $h = 1.5 \text{ мм}$ ). На нем для достаточно распространенного реза из АСПК (диаметр заготовки ПСТМ  $\varnothing 4,5 \text{ мм}$ ) приведены величины снимаемого объема ПСТМ в случае выведения скола одной и той же величины путем обработки по передней и задним поверхностям (здесь величина припуска соответствует размеру скола режущей кромки). При этом предполагается, что сколы одинаковой величины имеются на обеих кромках, поскольку при наличии скола только на одной кромке преимущество за доводкой по задним поверхностям, как правило, однозначно. Эти данные свидетельствуют о том, что в диапазоне малых величин площадей передней поверхности (площадь косвенно оценивалась глубиной  $h$  лыски, образованной на ПСТМ при заточке передней поверхности) с точки зрения снимаемого объема, а, следовательно, трудоемкости процесса наиболее предпочтительна обработка по передней поверхности. Затем, начиная с определенной величины площади (для АСПК, например, при глубине  $h \approx 1,13 \text{ мм}$ ), оба варианта становятся практически равноценными, а затем более предпочтительным будет вариант, предусматривающий обработку по двум задним поверхностям одновременно.

В случае, когда величина сколов на режущих кромках не превышает допустимое значение ( $\nu \leq \nu_{доп.}$  [12]) и припуски, снимаемые с инструмента по передней и задней поверхностям малы ( $\Delta h \approx \nu$  мм), роль таких факторов как  $\Delta h$ ,  $\nu$  и  $\Delta\alpha$  ( $\Delta\alpha = \alpha_{зат} - \alpha_{черт}$ , чистовая заточка производится по ленточке) становятся примерно равнозначными ввиду малости удаляемых объемов ПСТМ. Состояние режущих кромок лезвийных инструментов из ПСТМ может коренным образом изменить выходные показатели обработки.

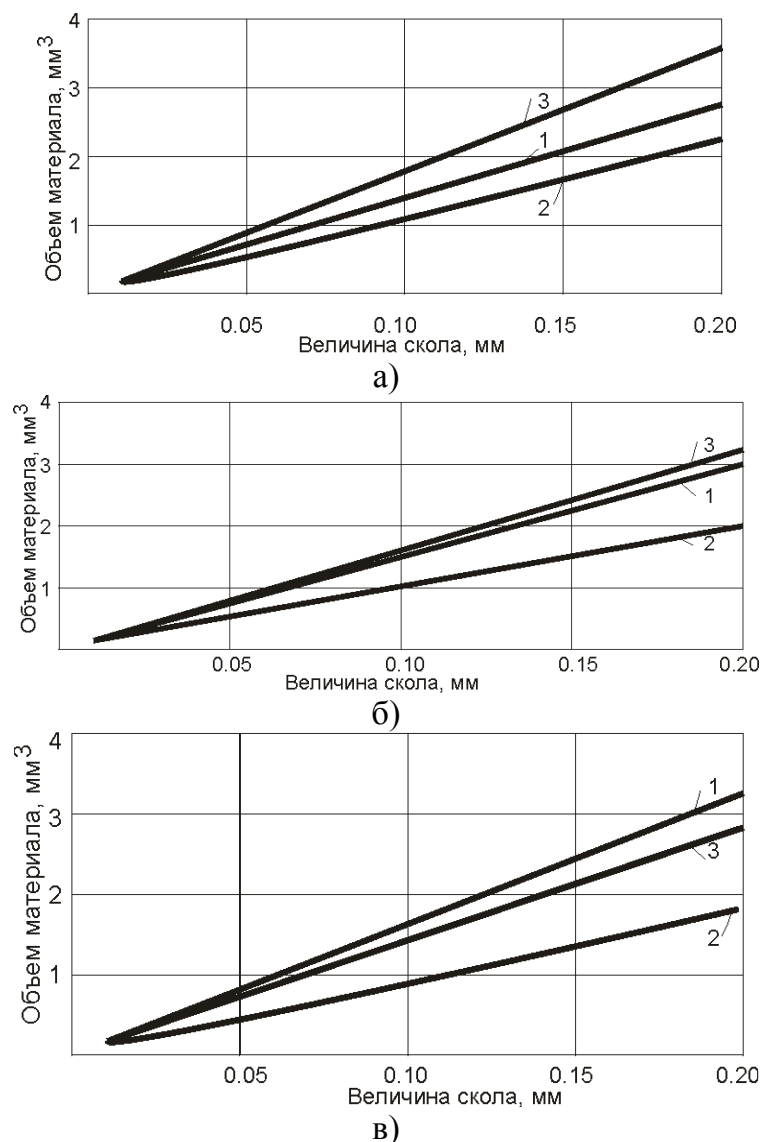


Рисунок 4 – Зависимости объема снятого материала от величины припуска по передней, главной задней и двум задним одновременно поверхностям ( $\gamma = 0^\circ$ ;  $\varphi = 45^\circ$ ;  $\varphi_1 = 15^\circ$ ;  $\alpha = \alpha_1 = 11^\circ$ ;  $\Delta\alpha = \Delta\alpha_1 = 0^\circ$ ) при заточке: по передней поверхности; 2-по главной задней поверхности; 3-по двум задним поверхностям



Как уже отмечалось, это связано в первую очередь с тем, что доводочные круги на органической связке при их обработке обеспечивают очень низкое значение производительности (что ведет к росту основного времени  $t$ ) и повышенные значения удельного расхода ( $q$ ). Поэтому изменение объема ( $V$ ), снимаемого ПСТМ, связанное с необходимостью выведения сколов (или отклонения от прямолинейности сопоставимой величины), способствует существенному перераспределению значений таких параметров обработки, как  $t$  и  $q$ . Это подтверждается экспериментальными данными, представленными на рисунке 5.

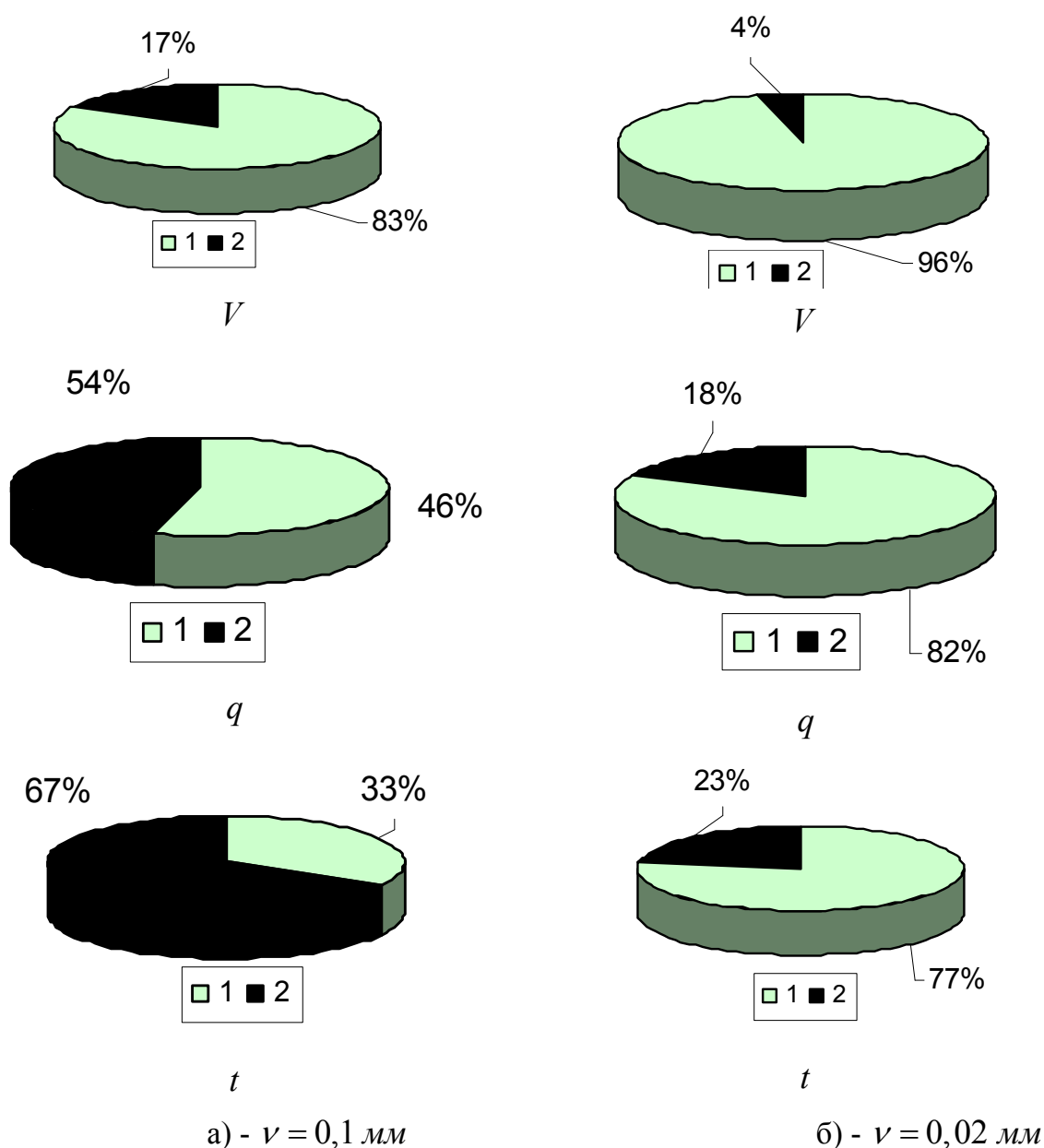


Рисунок 5 – Сравнительные данные по формообразованию лезвийных инструментов из ПСТМ в зависимости от состояния режущих кромок: 1 – черновая обработка; 2 – чистовая обработка.

Они свидетельствуют о том, что уже при величине скола  $\nu = 0,1$  мм значение расхода круга на чистовой стадии обработки примерно сравнивается с его величиной на черновой стадии, а основное время практически в два раза превышает продолжительность черновой обработки. Это позволяет констатировать тот факт, что существует серьезная проблема повышения эффективности высококачественного формообразования лезвийных инструментов из ПСТМ, которая требует своего научного разрешения.

Сказанное подтверждается и данными зарубежных исследователей, которые отмечают, что дополнительная обработка шлифованием технически очень трудна ввиду чрезвычайно высокой твердости алмаза и в большинстве случаев экономически неэкономична [18].

Таким образом, на основании выполненного анализа можно сделать вывод о том, что с точки зрения минимизации затрат на чистовое шлифование лезвийные инструменты из ПСТМ после черновой стадии обработки не должны иметь дефекты (отклонение от прямолинейности режущих кромок  $\Delta$  и сколы  $\nu$  на них), превышающие допустимые значения ( $\approx 0,02$  мм [12]). Такой подход позволит существенно повысить эффективность процесса их чистового формообразования.

**Список литературы:** 1. Бурдун Г.Д. Методы контроля качества алмазного инструмента / Бурдун Г.Д., Суругин В.Ф., Даревский В.Г. - М.: Машиностроение, 1979.- 119с. 2. ГОСТ 13297-86 Резцы и вставки алмазные. Технические условия. Взамен ГОСТ 13288-76, 13289-76, 13294-76, 13295-76, 13297-76; Введ. 01.01.88. - М.: Изд-во стандартов, 1986. - 14 с. 3. Грабченко А. И. Научные основы алмазного шлифования сверхтвердых поликристаллических материалов: дис. в форме научного доклада докт. техн. наук: 05.03.01 / Грабченко Анатолий Иванович. - Харьков, 1995. - 59 с. 4. Грабченко А.И. Расширение технологических возможностей алмазного шлифования / Грабченко А.И. - Харьков: Вища шк., 1985. - 184 с. 5. Грабченко А.И. Особенности контактного взаимодействия алмазных кругов с СТМ при шлифовании / Грабченко А.И., Пыжов И.Н. - В кн.: Контактные процессы при больших пластических



деформациях. - Харьков: Вища школа, 1982. - С. 33-37. **6. Грай К.** Сравнение работоспособности инструмента из гексанида-Р и амборита при точении закаленных сталей / *Грай К, Зубарь В.П* // Резание и инструмент. - 1985. - Вып. 34. - С. 149-151.

**7. Доброскок В.Л.** Научные основы формирования рабочей поверхности кругов на токопроводных связках в процессе шлифования: дис...докт. техн. наук: 05.03.01 / Доброскок Владимир Ленинмирович. - Харьков: - 2001. - 447 с. **8. Епифанов В.И.** Технология обработки алмазов в бриллианты / *Епифанов В.И., Песина А.Я., Зыков Л.В.* - М.: Высш. шк., 1984. - 319 с. **9. Захаренко И.П.** Алмазные инструменты и процессы обработки / *Захаренко И.П.* - К.: Техніка, 1980. - 215с. **10. Лавріненко В.І.** Шліфувальні круги у верстатній системі: обмеження за критерієм жорсткості / *Лавріненко В.І.* // Сверхтвердые материалы. - 2009. - № 2. - С. 82-87. **11. Маталин А.А.** Технология машиностроения / *Маталин А.А.* - Л.: Машиностроение, 1985. - 496 с. **12. Пыжов И. Н.** К особенностям заточки и доводки рабочих элементов лезвийных инструментов из ПНТМ при алмазном шлифовании / *Пыжов И. Н.* // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Технології в машинобудуванні.-Харків: 2007.-№ 01.-С. 18-25.

**13.** Робочі процеси високих технологій у машинобудуванні: підручник для студентів вищих навчальних закладів / *Грабченко А.І., Верезуб М.В., Внуков Ю.М. та ін.; за редакцією А.І. Грабченка.* - Житомир, ЖДТУ, 2003 р.- 451 с. **14. Русанов В.В.** Исследование физических явлений и качества поверхности при алмазном шлифовании композиций «СТМ - сталь»: дис... канд. техн. наук 05.03.01 / *Русанов Виктор Васильевич.* - Харьков, 1980. - 259с. **15. Семко М.Ф.** Алмазное шлифование синтетических сверхтвердых материалов / *Семко М.Ф., Грабченко А.И., Ходоревский М.Г.* - Харьков: Вища школа, 1980. - 192 с. **16.** Синтетические алмазы в машиностроении / *[Бакуль В.Н., Гинсбург Б.И., Мишинаевский Л.Л. и др.]; под ред. В. Н. Бакуля.* - К.: Наукова думка, 1976. - 352 с. **17. Хрульков В.А.** Алмазные инструменты в прецизионном приборостроении / *Хрульков В.А., Головань А.Я, Федотов А. И.* - М.: Машиностроение, 1977. - 223 с. **18. Федорович В.А.** Разработка научных основ и способов практической реализации управления приспособляемостью при алмазном шлифовании сверхтвердых материалов: дис. ... д-ра техн. наук: 05.03.01 / *Федорович Владимир Алексеевич.* - Харьков: - 2002. - 466 с.

**19. [Hochleistungsbearbeitung von Holz und Holzersatzstoffen mit PKD-Werkzeugen.](http://www.idr-online.com/german/pages/archive/2004_1/12_art/Art_12_01_04.htm)**  
[http://www.idr-online.com/german/pages/archive/2004\\_1/12\\_art/Art\\_12\\_01\\_04.htm](http://www.idr-online.com/german/pages/archive/2004_1/12_art/Art_12_01_04.htm).

**20. Uhlmann, E.** Diamant-Technologie - CVD-Diamant als Schneidstoff. Industrie Diamanten Rundschau / *Uhlmann, E., Brucher, M.* - 2003. - V. 37. - Nr. 4. - S-340-355.